



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101680355 B

(45) 授权公告日 2012.04.25

(21) 申请号 200880020111.1

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2008.06.11

F02B 33/22(2006.01)

(30) 优先权数据

(56) 对比文件

60/963,742 2007.08.07 US

US 3896774 A, 1975.07.29,

US 4565167 A, 1986.01.21,

(85) PCT申请进入国家阶段日

CN 2349360 Y, 1999.11.17,

2009.12.14

US 7219630 B2, 2007.05.22,

(86) PCT申请的申请数据

US 1305577 A, 1919.06.03,

PCT/US2008/007314 2008.06.11

US 6880501 B2, 2005.04.19,

(87) PCT申请的公布数据

审查员 杨润

W02009/020490 EN 2009.02.12

(73) 专利权人 史古德利集团有限责任公司

地址 美国马萨诸塞

(72) 发明人 福特·A·菲利普斯

(74) 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任

公司 11021

代理人 王新华

权利要求书 3 页 说明书 10 页 附图 12 页

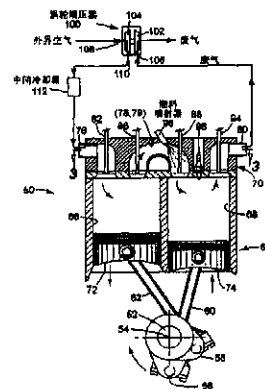
(54) 发明名称

抗爆震分开循环发动机和方法

(57) 摘要

本发明公开一种发动机,所述发动机具有曲柄轴。压缩活塞容纳在压缩气缸内,并且操作性地连接到曲柄轴,使得压缩活塞通过在所述曲柄轴的单个旋转期间的进气冲程和压缩冲程而往复运动。膨胀活塞容纳在膨胀气缸内,并且操作性地连接到曲柄轴,使得膨胀活塞通过在所述曲柄轴的单个旋转期间的膨胀冲程和排气冲程而往复运动。跨接通道使压缩气缸和膨胀气缸相互连接。跨接通道包括跨接压缩(XovrC)阀和跨接膨胀(XovrE)阀,所述跨接压缩阀和所述跨接膨胀阀之间限定压力室。燃料喷射器设置在跨接通道的所述压力室内。对来自所述燃料喷射器的、进入到所述跨接通道内的燃料喷射定时,以完全在压缩活塞的压缩冲程期间发生燃料喷射。

CN 101680355 B



1. 一种发动机,包括:

曲柄轴,所述曲柄轴能够绕着所述发动机的曲柄轴轴线旋转;

压缩活塞,所述压缩活塞能够滑动地容纳在压缩气缸内,并且操作性地连接到所述曲柄轴,使得所述压缩活塞通过在所述曲柄轴的单个旋转期间的进气冲程和压缩冲程而往复运动;

膨胀活塞,所述膨胀活塞能够滑动地容纳在膨胀气缸内,并且能够操作地连接到所述曲柄轴,使得所述膨胀活塞通过在所述曲柄轴的单个旋转期间的膨胀冲程和排气行程而往复运动;

跨接通道,所述跨接通道使所述压缩气缸和所述膨胀气缸相互连接,所述跨接通道包括跨接压缩(XovrC)阀和跨接膨胀(XovrE)阀,所述跨接压缩阀和所述跨接膨胀阀之间限定压力室;和

燃料喷射器,所述燃料喷射器设置在所述跨接通道的所述压力室内,

其中,对从所述燃料喷射器进入到所述跨接通道内的燃料喷射定时,以使得所述燃料喷射完全发生在所述压缩活塞的所述压缩冲程期间。

2. 根据权利要求1所述的发动机,其中,使燃料喷射开始进入到所述跨接通道内发生在所述膨胀活塞的上死点之前的25度曲柄角到0度曲柄角的范围内。

3. 根据权利要求2所述的发动机,其中,使燃料喷射结束进入到所述跨接通道内发生在从所述膨胀活塞的上死点之前的10度曲柄角到所述膨胀活塞的上死点之后的10度曲柄角的范围内。

4. 根据权利要求1所述的发动机,其中,使燃料喷射结束进入到所述跨接通道内发生在从所述膨胀活塞的上死点之前的10度曲柄角到所述膨胀活塞的上死点之后的10度曲柄角的范围内。

5. 根据权利要求1所述的发动机,其中,所述跨接通道被构造成:在所述跨接膨胀阀在所述膨胀活塞的膨胀冲程期间的闭合与所述跨接压缩阀在随后的所述压缩活塞的压缩冲程期间的打开之间,带走包含在留在所述跨接通道内的压缩气体中至少5.3%的热能。

6. 根据权利要求1所述的发动机,其中,所述跨接通道被构造成:在所述跨接膨胀阀在所述膨胀活塞的膨胀冲程期间的闭合与所述跨接压缩阀在随后的所述压缩活塞的压缩冲程期间的打开之间,带走包含在留在所述跨接通道内的压缩气体中至少13%的热能。

7. 根据权利要求1所述的发动机,其中,所述跨接通道被有效冷却,以在所述跨接膨胀阀在所述膨胀活塞的膨胀冲程期间的闭合与所述跨接压缩阀在随后的所述压缩活塞的压缩冲程打开之间,带走包含在所述跨接通道内的压缩气体的被控制量的热能。

8. 根据权利要求1所述的发动机,其中,在所述曲柄轴的1400RPM与4000RPM之间在全负荷下操作期间,所述跨接膨胀阀两端的压力比等于或超过临界值,从而当打开所述跨接膨胀阀时,使压缩气体产生从所述跨接通道到所述膨胀气缸的初始声速流。

9. 根据权利要求8所述的发动机,其中,在每一个循环中输送到所述膨胀气缸的喷射燃料的至少一部分在压缩气体通过所述跨接膨胀阀的初始声速流期间通过所述跨接膨胀阀。

10. 根据权利要求1所述的发动机,其中,所述跨接通道包括至少一对分离的跨接通道,所述至少一对分离的跨接通道具有相关联的跨接压缩阀和跨接膨胀阀,所述至少一对

分离的跨接通道的尺寸被形成为：在相关联的所述跨接膨胀阀在所述膨胀活塞的膨胀冲程期间的闭合与相关联的所述跨接压缩阀在随后的所述压缩活塞的压缩冲程期间的闭合之间，带走包含在所述跨接通道内的压缩气体中至少 5.3% 的热能。

11. 一种在不存在爆震的情况下在分开循环发动机中将进气空气压力增加到 1.7 巴绝对压力以上的方法，所述方法包括以下步骤：

提供分开循环发动机，所述分开循环发动机包括：

曲柄轴，所述曲柄轴能够绕着所述发动机的曲柄轴轴线旋转；

压缩活塞，所述压缩活塞能够滑动地容纳在压缩气缸内，并且操作性地连接到所述曲柄轴，使得所述压缩活塞通过在所述曲柄轴的单个旋转期间的进气冲程和压缩冲程而往复运动；

膨胀活塞，所述膨胀活塞能够滑动地容纳在膨胀气缸内，并且能够操作地连接到所述曲柄轴，使得所述膨胀活塞通过在所述曲柄轴的单个旋转期间的膨胀冲程和排气行程而往复运动；和

跨接通道，所述跨接通道使所述压缩气缸和所述膨胀气缸相互连接，所述跨接通道包括跨接压缩 (XovrC) 阀和跨接膨胀 (XovrE) 阀，所述跨接压缩阀和所述跨接膨胀阀之间限定压力室；

将在所述进气冲程期间进入到所述压缩气缸内的空气的装料的进气压力增加到至少 1.7 巴绝对压力；

在所述压缩冲程期间压缩所述空气装料；

打开所述跨接压缩 (XovrC) 阀以将所述空气装料输送到所述跨接通道内；以及燃料完全在所述压缩冲程期间被喷射到所述跨接通道内。

12. 根据权利要求 11 所述的方法，进一步包括以下步骤：

在所述膨胀活塞的上死点之前的 25 度曲柄角到 0 度曲柄角的范围内开始进入到所述跨接通道内的燃料喷射。

13. 根据权利要求 11 所述的方法，进一步包括以下步骤：

在从所述膨胀活塞的上死点之前的 10 度曲柄角到所述膨胀活塞的上死点之后的 10 度曲柄角的范围内结束进入到所述跨接通道内的燃料喷射。

14. 根据权利要求 11 所述的方法，进一步包括以下步骤：

在所述跨接膨胀阀在所述膨胀活塞的膨胀冲程期间的闭合与所述跨接压缩阀在随后的所述压缩活塞的压缩冲程期间的打开之间，从跨接通道带走包含在留在所述跨接通道内的压缩气体中 5.3% 的热能。

15. 根据权利要求 11 所述的方法，进一步包括以下步骤：

有效地冷却所述跨接通道，以在所述跨接膨胀阀在所述膨胀活塞的膨胀冲程期间的闭合与所述跨接压缩阀在随后的所述压缩活塞的压缩冲程期间的打开之间，带走包含在所述跨接通道内的压缩气体中被控制量的热能。

16. 根据权利要求 11 所述的方法，进一步包括以下步骤：

将所述跨接通道构造成至少一对分离跨接通道，所述至少一对分离跨接通道的尺寸被形成为：在所述跨接膨胀阀在所述膨胀活塞的膨胀冲程期间的闭合与所述跨接压缩阀在随后的所述压缩活塞的压缩冲程期间的打开之间，带走包含在所述跨接通道内的压缩空气中

的被控制量的热能。

17. 根据权利要求 11 所述的方法,进一步包括以下步骤:

建立在全负荷操作期间并且在所述曲柄轴的 1400RPM 与 4000RPM 之间所述跨接膨胀阀两端的压力比,所述压力比等于或超过临界值;以及

当打开所述跨接膨胀阀时,使压缩空气产生从所述跨接通道到所述膨胀气缸的初始流速流。

抗爆震分开循环发动机和方法

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求 2007 年 8 月 7 日提出申请的美国临时专利申请第 560/963, 742 号的权益。

技术领域

[0003] 本发明涉及内燃机。更具体地,本发明涉及一种具有一对活塞的涡轮增压的分开循环发动机,在所述分开循环发动机中,一个活塞用于进气冲程和压缩冲程,而另一个活塞用于膨胀(或动力)冲程和排气行程,且四个冲程中的每一个在曲柄轴的一个旋转中完成。

背景技术

[0004] 为了清楚起见,在本申请中所使用的术语“传统发动机”表示其中公知的奥托循环的所有四个冲程(即,进气冲程、压缩冲程、膨胀冲程和排气冲程)包括在发动机的每一个活塞/气缸燃烧中的内燃机。在本申请中所使用的术语分开循环发动机还没有被接受为发动机领域的技术人员通常已知的固定意思。因此,为了清楚起见,应用到现有技术中所公开的发动机和本申请中所涉及的术语“分开循环发动机”定义如下:

[0005] 本文涉及的分开循环发动机包括:

[0006] 曲柄轴,所述曲柄轴可绕着曲柄轴轴线旋转;

[0007] 压缩活塞,所述压缩活塞可滑动地容纳在压缩气缸内并且操作性地连接到曲柄轴,使得压缩活塞通过在曲柄轴的一个旋转期间的进气冲程和压缩冲程而往复运动;

[0008] 膨胀(动力)活塞,所述膨胀活塞可滑动地容纳在动力气缸内并且操作性地连接到曲柄轴,使得膨胀活塞通过在曲柄轴的一个旋转期间的膨胀冲程和排气冲程而往复运动;和

[0009] 使动力气缸和压缩气缸相互连接的跨接通道,所述跨接通道包括在其间限定压力室的跨接压缩(XovrE)阀和跨接膨胀(XoveE)阀。

[0010] 2003 年授予 Carmelo J. Scuderi 的美国专利 6, 543, 225 包括分开循环和类似类型发动机的广泛论述。此外,该专利公开以现有型式发动机的细节,本发明包括所述现有型式发动机的进一步开发。

[0011] 参照图 1,现有技术的分开循环发动机原理整体由附图标记 10 示出。分开循环发动机 10 通过压缩气缸 12 和膨胀气缸 14 的组合替换传统的四冲程发动机的两个相邻气缸。一旦每一个曲柄轴 16 旋转时,这两个气缸 12、14 执行其相应的功能。通过典型的提升型进气阀 18 将进气装料(燃料和空气)吸入到压缩气缸 12 内。压缩气缸活塞 20 给装料增压,并且驱动装料通过作用于膨胀气缸 14 的进气通道的跨接通道 22。

[0012] 跨接通道入口处的止回型跨接压缩(XovrC)阀 24 用于防止来自跨接通道 22 的逆流。跨接通道 22 的出口处的跨接膨胀(XoveE)阀 26 控制已增压进气装料进入到膨胀气缸 14 内的流动。在进气装料进入膨胀气缸 14 不久之后点燃火花塞 28,并且产生的燃烧向下驱动膨胀气缸活塞 30。通过提升排气阀 32 将废气泵送出膨胀气缸。

[0013] 在分开循环发动机原理的情况下,压缩气缸和膨胀气缸的发动机几何结构参数(即,内径、冲程连杆长度、压缩比等)基本上彼此无关。例如,对于每一个气缸来说,曲拐(crank throw)34、36 可以具有不同的半径,并且被定相成彼此远离,且膨胀气缸活塞 30 的上死点(TDC)在压缩气缸活塞 20 的 TDC 之前。这种独立性能使分开循环发动机潜在地实现比典型的四冲程发动机更高的效率水平和更大的扭矩。

[0014] 在分开循环发动机中,进气冲程在压缩冲程之后,而在传统的发动机中,进气冲程在排气行程之后。因此,在分开循环发动机中,当压缩活塞抵达其上死点位置时,少量被压缩的高压空气总是被截留在压缩气缸内。因为在可以吸入新空气装料之前此压缩空气必须在进气冲程期间被重新膨胀,因此分开循环发动机的压缩气缸的尺寸被形成为除了大量新空气装料之外还必须包括大量重新膨胀的截留空气。

[0015] 相对于具有相同进气装料的传统发动机,这往往增加分开循环发动机尺寸并且减小功率密度。

[0016] 分开循环发动机和传统的发动机都可以例如通过涡轮增压、增压作用 或类似作用给它们的进气压力升压,以增加发动机的功率密度并且减少总尺寸。自然吸气发动机上的升压(即,在一个大气压压力偏差以上增加压力)越大,功率密度越大,并且发动机的尺寸可以被减小得更小。

[0017] 问题是可以提供给传统汽油发动机或分开循环汽油发动机任一个的进气装料的升压量由其中燃料/空气混合物由于在压缩冲程期间在发动机内产生的过压和温度而被迫进入先期燃烧(即,爆震)的点所限制。公知的是在具有单级涡轮增压器的传统汽油发动机中,在爆震将发生之前将增压限制到大约 15-17 巴。潜在地可得到更高的增压,但是在现有技术传统的发动机中需要昂贵的多级升压系统和中间冷却系统。

[0018] 因此,对于发动机并且具体地对于分开循环发动机来说,需要总体上增加抗爆震性。更具体地,需要增加分开循环发动机的抗爆震性,使得所述分开循环发动机将其进气装料的压力增加到 17 巴绝对压力或更大。

发明内容

[0019] 本发明包括一种具有有助于防爆震或更高抗爆震的各种特征的分开循环发动机。这些特征中的三个是:

[0020] 1. 与传统的发动机相比,将燃料非常晚地喷射到跨接(Xovr)通道内;

[0021] 2. 由通过将 Xovr 通道连接膨胀气缸(XovrE 阀)的阀的高度紊流音速流辅助的快速空气燃料混合;和

[0022] 3. 由于有源或无源冷却 Xovr 通道内的高温空气,通过跨接通道的预定热损失,这降低了 Xovr 通道本身内的装料空气温度。

[0023] 根据本发明的示例性发动机包括:

[0024] 曲柄轴,所述曲柄轴可绕着发动机的曲柄轴轴线旋转;

[0025] 压缩活塞,所述压缩活塞可滑动地容纳在压缩气缸内,并且操作性地连接到曲柄轴,使得压缩活塞通过在曲柄轴的单个旋转期间的进气冲程和压缩冲程而往复运动;

[0026] 膨胀活塞,所述膨胀活塞可滑动地容纳在膨胀气缸内,并且能够操作地连接到曲柄轴,使得膨胀活塞通过在曲柄轴的单个旋转期间的膨胀冲程和排气行程而往复运动;

[0027] 跨接通道,所述跨接通道使压缩气缸和膨胀气缸相互连接,跨接通道包括跨接压缩 (XovrC) 阀和跨接膨胀 (XovrE) 阀,所述跨接压缩阀和所述跨接膨胀阀之间限定压力室;和

[0028] 燃料喷射器,所述燃料喷射器设置在跨接通道的压力室内,

[0029] 其中,对从燃料喷射器的、进入到跨接通道内的燃料喷射定时,以使得所述燃料喷射完全发生在压缩活塞的压缩冲程期间。

[0030] 本发明另外的实施例可以包括:

[0031] 使燃料喷射开始 (SOT) 进入到跨接通道内发生在膨胀活塞的在上死点之前 (BTDC) 的 25° 到 0° 曲柄角 (CA) 的范围内,和使燃料喷射结束 (EOI) 发生在从 BTDC 10° CA 到膨胀活塞的上死点之后 (ATDC) 的 10° 的范围内。

[0032] 跨接通道被构造成:在跨接膨胀阀在膨胀活塞的膨胀冲程期间的闭合与跨接压缩阀在随后的压缩活塞的压缩冲程期间的打开之间,带走包含在留在跨接通道内的压缩气体中至少 5.3% 的热能。不隔热通道可以带走至少 13% 的热能。

[0033] 在所述曲柄轴的 1400RPM 与 4000RPM 之间在全负荷下操作期间,所述跨接膨胀阀两端的压力等于或超过临界值,从而当打开所述跨接膨胀阀时,使压缩气体产生从所述跨接通道到所述膨胀气缸的初始声速流。喷射燃料的至少一部分在气体进入到膨胀气缸的初始声速流期间通过跨接膨胀阀。

[0034] 可选地,至少两个分离的跨接通道可以连接到每一个膨胀汽缸,且每一个跨接通道都具有相关联的跨接压缩阀和膨胀阀。跨接通道的尺寸被形成为:在相关联的跨接膨胀阀在膨胀活塞的膨胀冲程期间的闭合与相关联的跨接压缩阀在随后的压缩活塞的压缩冲程期间的打开之间,带走包含在跨接通道内的压缩气体中被控制量的热能。

[0035] 从参照附图的以下详细说明可以更加全面地理解本发明的这些及其它特征和优点。

[0036] 附图说明

[0037] 图 1 是现有技术中分开循环发动机的横向横截面图;

[0038] 图 2 是根据本发明的原始 (baseline) 分开循环发动机的示例性实施例的横向横截面图;

[0039] 图 3 是沿图 2 中的线 3-3 截得的具有重叠燃料喷射器的原始分开循环发动机的横截面俯视图;

[0040] 图 4 是对于各种分开循环发动机的不隔热铸铁跨接通道 (端口) 来说爆震分数 (fraction) 与曲柄角的图;

[0041] 图 5 是对于原始分开循环发动机的不隔热铸铁跨接通道来说的气缸和跨接通道压力的图;

[0042] 图 6 是在 4000rpm 下原始分开循环发动机的不隔热铸铁跨接通道的情况下 XovrE 阀的马赫数与曲柄角的图;

[0043] 图 7 是在 1400rpm 下原始分开循环发动机的不隔热铸铁跨接通道的情况下 XovrE 阀的马赫数与曲柄角的图;

[0044] 图 8 是对于原始分开循环发动机的陶瓷壁跨接通道来说气缸和跨接通道压力的图;

[0045] 图 9 是对于各种分开循环发动机的陶瓷壁跨接通道来说预测爆震分数与曲柄角的图；

[0046] 图 10 是对于原始分开循环发动机的不锈钢套筒来说跨接通道的气缸和跨接通道压力的图；

[0047] 图 11 是对于各种分开循环发动机的不锈钢套筒来说跨接通道的爆震分数与曲柄角的图；和

[0048] 图 12 是对于原始分开循环发动机来说四个被分开控制的有效冷却套的原理图。

具体实施方式

[0049] 词汇表

[0050] 提供这里使用的术语的缩写和定义的以下词汇表以供参考：

[0051] 空气 / 燃料比：进气装料中的空气与燃料的比例。

[0052] 下死点 (BDC)：活塞距离气缸盖的最远位置，使循环产生最大气缸容积。

[0053] 曲柄角 (CA)：曲柄轴的旋转角度。

[0054] 临界压力比：使通过孔口的流动实现声速（即，1 马赫）的压力比。所述 压力比

可以由以下公式计算：
$$\frac{P_0}{P_c} = \left(\frac{\gamma + 1}{2}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}}$$

[0055] 其中：

[0056] P_c = (喉管处的) 临界压力

[0057] P_0 = 上游压力

[0058] γ = 比热比

[0059] 对于室温下的干空气来说 $\gamma = 1.4$ ，因此临界压力比是 1.893

[0060] 压缩 / 膨胀气缸排量比：压缩气缸与膨胀气缸的排量比。

[0061] 压缩比：BDC 处的气缸容积与 TDC 处的气缸容积比。

[0062] 气缸排量：活塞从 BDC 移动到 TDC 的量。

[0063] 全 (100%) 发动机载荷：发动机在给定速度下可以产生的最大扭矩。

[0064] 爆震：在压缩期间燃料 / 空气混合物自动点火的趋势。

[0065] 爆震分数 (fraction)：提供在压缩期间具体燃料 / 空气混合物达到自动点火的趋势的相对指示的预测参数。自动点火通常由爆震值分数 1 表示，而自动点火的趋势通常由爆震分数零表示。例如，0.8 的爆震分数表示与自动发火的化学预反应具有达到需要产生自动点火所需值的 80%。

[0066] 辛烷值 (ON)：在内燃机中在压缩冲程期间燃料对自动点火的抵抗的相对经验额定值。辛烷值 (ON) 由 0-120 的尺度来测量，且 100 辛烷是具有对自动点火高抵抗的燃料（异辛烷），而 n-庚烷具有在压缩期间发生爆震的高趋势，并且被指定为零 (0) 辛烷值。

[0067] 功率密度：制动功率 / 发动机排量，通常被表示为千瓦 / 公升。

[0068] 化学计量比：以化学方法校正空气与燃料的质量比，以确保所有燃料燃烧（被氧化）并且所有氧气用于燃烧。

[0069] 上死点 (TDC)：活塞在整个循环中所到达的与气缸盖最近的位置，从而提供最低的气缸容积。

[0070] 以下详细参照附图的图 2 和图 3,附图标记 50 整体表示根据本发明的具有抗爆震特征的分开循环发动机的示例性实施例。发动机 50 包括曲柄轴 52,所述曲柄轴在如图所示的顺时针方向上可绕着曲柄轴轴线 54 旋转。曲柄轴 52 包括相邻的角度上间隔开的前曲拐 (crank throw) 和后曲拐 56、58,所述曲拐分别连接到连杆 60、62。

[0071] 发动机 50 还包括气缸组 64,所述气缸组限定一对相邻的气缸,具体地限定压缩气缸 66 和膨胀气缸 68,所述压缩气缸和膨胀气缸与曲柄轴 52 相对在气缸的一端处被气缸盖 70 闭合。

[0072] 压缩活塞 72 容纳在压缩气缸 66 内并连接到连杆 62,用于使活塞在上死点 (TDC) 位置与下死点 (BDC) 位置之间往复运动。膨胀活塞 74 容纳在膨胀气缸 68 内并连接到连杆 60,用于类似的 TDC/BDC 往复运动。

[0073] 在本实施例中,膨胀活塞 74 在压缩活塞 72 前 20 度曲柄角。换句话说,在膨胀活塞 74 到达其 TDC 位置之后,压缩活塞 72 在曲柄轴旋转 20 度时到达其 TDC 位置。气缸和活塞的直径和活塞的冲程及其它们的排量不必相同。

[0074] 气缸盖 70 提供用于进入到气缸 66、68 内、从所述气缸出来和在所述气缸之间流动的气流的结构。按照气流的顺序,气缸盖包括:进气口 76,吸入空气通过所述进气口吸入到压缩气缸 66 内;一对分离的跨接 (Xovr) 通道 (或端口) 78 和 79,压缩空气从压缩气缸 66 通过所述跨接通道被输送到膨胀气缸 68;和排气口 80,废气从膨胀气缸通过所述排气口被排出。

[0075] 进入到压缩气缸 66 内的气流由向内开口的提升型进气阀 82 控制。进入到每一个跨接通道 78 和 79 内和从所述跨接通道流出的气流由一对向外开口的提升阀控制,即,Xovr 通道 78、79 的入口端处的跨接压缩 (XovrC) 阀 86 和跨接通道 78、79 的出口端处的跨接膨胀 (XovrE) 阀 88。从排气口 80 出来的废气流由向内开口的提升型排气阀 94 控制。这些阀 82、86、88 和 94 可以以任何适当的方式致动,例如通过机械传动凸轮、可变阀致动技术或类似方式来致动。

[0076] 每一个跨接通道 78、79 都具有至少一个高压燃料喷射器 96,所述至少一个高压燃料喷射器设置在所述跨接通道内。燃料喷射器 96 可操作以完全在压缩冲程期间将燃料喷射到跨接通道 78、79 内的压缩空气的装料中。

[0077] 发动机 50 还包括位于膨胀气缸的端部的适当位置处的一个或多个火花塞 98 或其它点火装置,在所述位置处,混合的燃料和空气装料可以被点燃,并且在膨胀冲程期间燃烧。

[0078] 另外,发动机 50 理想地设置有诸如涡轮增压器 100 的升压装置,所述升压装置能够将气缸进气装料压力提高到 1.7 巴并超过 1.7 巴,以充分利用如这里更加详细说明书的发动机的抗爆震特征。涡轮增压器 100 包括驱动旋转压缩机 104 的废气涡轮机。涡轮机具有废气入口 106,所述废气入口被连接以接收来自发动机 50 的排气口 80 的增压废气。涡轮机 102 驱动压缩机 104,从而通过空气入口 108 吸入外界空气并通过压缩空气出口 110 排放增压空气。压缩空气在全负荷时以至少 1.7 巴的绝对压力通过单级中间冷却器 112 并且进入进气口 76。

[0079] 发动机中的爆震是在点火发生之前将燃料暴露给过热温度的时间长短的函数。因此,在发动机内减小暴露燃料的温度或时间的特征将增加发动机对爆震的抵抗。

[0080] 在分开循环发动机 50 中举例说明本发明的三个特征对防爆震或更高爆震抵抗的贡献：

[0081] 1. 与传统的发动机相比,进入到跨接 (Xovr) 通道 78 和 79 内的非常晚的燃料喷射。

[0082] 在分开循环发动机 50 中,在空气进气冲程之后和完全在压缩冲程期间,发生来自喷射器 96 的燃料喷射。相反,在具有端口燃料喷射的传统发动机中,在空气进气冲程之前和空气进气冲程期间以及在压缩冲程之前发生燃料喷射。此外,在进入气缸内的直接喷射燃料的情况下的传统发动机中,燃料喷射通常至少部分地在进气冲程期间发生,并且可能在压缩冲程开始时继续。

[0083] 2. 由通过将 Xovr 通道连接到膨胀气缸的阀 (XovrE 阀 88) 的高度湍流协助的空气燃料混合。

[0084] 由于 XovrE 阀 88 两端的高初始压力比,当阀 88 打开时,初始流处于声速。产生的高度湍流主要有助于空气燃料混合,并因此与传统的发动机相比允许非常晚的燃料喷射,与分开循环发动机 50 相比,传统的发动机在吸入冲程和压缩冲程期间具有相对较低空气速度。这使得可能发生爆震的用于燃料 / 空气发生反应的时间较少。

[0085] 3. 来自 Xovr 通道 78 和 79 内的高温空气通过 Xovr 通道壁的、降低低装料空气温度的热损失。

[0086] 当压缩使空气的温度远远超过通道壁温度时,由于将热量传递给通道壁表面,因此分开循环 50 的跨接 (Xovr) 通道 78 和 79 内的压缩空气损失能量。虽然这种能量损失减少了效率,但是由于热损失将低了压缩空气温度,因此这有助于防止在火花点燃之前燃料在 Xovr 通道 78 和 79 以及膨胀气缸 68 内自动爆燃 (“爆震”)。

[0087] 在传统的汽油发动机中,通过更高的压缩比、增压作用或涡轮增压产生的增加的空气压力的水平由在增加的空气温度处产生爆震的趋势来限制。这种趋势可以通过在被增压器或涡轮增压器压缩之后使空气通过中间冷却器来减少。然而,在气缸压缩之后,空气仍然在正好增加的温度下,并且已经发生了燃料喷射。在分开循环 50 的情况下,在增压作用或涡轮增压之后还可以使用中间冷却器,但是此外,分开循环发动机 50 的特征在于在气缸压缩之后由于 Xovr 通道 78 和 79 内的热损失而使得空气再次被冷却,并且在此压缩的后来部分期间发生燃料喷射。

[0088] 为了更精确地预期本发明的效果并优化抗爆震特征 (例如,晚燃料喷射、气体通道冷却和高度湍流),进行计算机研究 (模拟)。计算机研究使用具有如以下表 I 和表 II 中所示的阀和气缸参数的发动机 50 的具体原始模型:

[0089] 表 I:原始发动机 50 气缸参数

[0090]

参数	单位	压缩气缸 66	膨胀气缸 68
气缸内径	毫米	94.4	86.3
气缸冲程	毫米	87.0	120.0
总气缸排量	升	0.609	0.702
体积压缩比	X : 1	86	121

[0091] 表 II:原始发动机 50 阀参数

[0092]

参数	单位	进气阀 82	XovrC 阀 86	XovrE 阀 88	排气阀 94
阀座内径	毫米	32.0	18.0	18.0	26.0
最大升程	毫米	9.73	2.60	2.43	9.28
打开角位置	膨胀活塞的 ATDC 度	62.0	-15.0	-5.0	155.0
闭合角位置	膨胀活塞的 ATDC 度	212.0	20.5	25.0	-24.0

[0093] 此外,在计算机模型中,原始发动机 50 的膨胀活塞 74 被设置成在压缩活塞 72 前面曲柄角旋转二十 (20) 度。换句话说,在膨胀活塞 74 的 TDC 之前,压缩活塞 72 在 -160 度 CA 处开始其压缩冲程 (即,达到其 BDC 位置),而在膨胀活塞 74 的 TDC 之后,压缩活塞 72 在 20 度 CA 处结束其压缩冲程 (达到其 TDC 位置)。

[0094] 在以下说明和相应的图 4-13 中公开计算机研究的结果。除非以其它方式指定,原始发动机 50 的所有未涉及的参数都如以上表 I 和表 II 所列出的被保留。相对于在 0 度 CA TDC 时的膨胀活塞 74 的 TDC 位置对于任一参数表示所有曲柄角位置。

[0095] 图 4 对于具有不隔热 (uninsulated) 铸铁跨接通道 (端口) 的两个自然吸气分开循环发动机示出了以上参考的计算机研究的预测爆震分数与曲柄角 (线 120 和 122)。当爆震分数接近 1 时,爆震很可能发生。

[0096] 图 4 中所研究的每一个发动机都以 4000RPM、在 100% 的发动机载荷下、在 100 辛烷 (ON) 汽油上运转,并且具有 13.05/1 (即,14.51 的化学计量比的 (90%) 的稍微较高的空气燃料比。线 120 表示具有 87mm 压缩冲程的原始发动机 50,而线 122 表示分开循环发动机,所述分开循环发动机与原始发动机 50 的不同仅仅在于所述分开循环发动机具有 120mm 的细长压缩冲程并且具有相称地较大的压缩气缸排量。

[0097] 如图 4 中所示,爆震分数从燃料喷射的开始 (SOI) 建立,所述燃料喷射在膨胀活塞 74 的 TDC 之前在 15 度 CA 处发生。当压缩气缸冲程和排量从 87mm 增加到 120mm (分别为线 120 和 122 时),最后的爆震分数增加,但是在最高排量 (线 122) 止于 0.35 以下。

[0098] 要注意的是在图 4 中,模拟的发动机表示具有双分离跨接通道 78 和 79 的不隔热标准铸铁 Xovr 通道壁,其中每一个跨接通道都具有大约 13.5 毫米的平均直径。气体通道 78 和 79 中的冷却空气和压缩空气的重要特征在于将爆震分数基本上保持在 1 以下。用于构造通道 78 和 79 的材料类型、对于给定压缩空气装料的通道数量、通道如何被隔热,并且所述通道是否被有效冷却都是从气体通道除去热量并因此减少爆震分数的因素。

[0099] 在由图 4 中的线 120 和 122 所示的具体情况下,使用具有相关联的跨接压缩阀 86 和膨胀阀 88 的一对不隔热铸铁跨接通道 78 和 79 以除去热量。所述一对跨接通道 78 和 79 的尺寸被形成和构造:在相关联的跨接膨胀阀 88 在膨胀活塞 74 的膨胀冲程期间闭合与相关联的跨接压缩阀 86 在随后的压缩活塞 72 的压缩冲程期间打开之间,带走包含在跨接通道内的压缩气体中的被控制的热能量。如这里更详细地所述,优选的是包含在压缩气体内的至少 5.3% 的热能,并且更优选的是至少 13% 的热能在跨接膨胀阀 88 的闭合与跨接压缩阀 86 的随后打开之间被带走。本领域的技术人员将认识到还可以使用跨接通道的其它组合和结构,以除去等量被控制的热能量。例如,对于给定压缩空气装料来说,多于两个的气体通道可以用于增加暴露气体通道内壁表面面积,或者可以有效地冷却气体通道。

[0100] 在此研究中,对于原始发动机 50 来说,在压缩冲程开始并且非常接近 XovrE 阀 88 打开之后,模拟燃料喷射的开始 (SOI)。优选的 SOI 的范围在 TDC 到 TDC 之前在 25 度 CA 之间。

[0101] 此外,在此研究中,在压缩冲程结束之前并且在关闭 XovrE 阀 88 之前模拟燃料喷射的结束。优选的 EOI 的范围在 TDC 之后在 -10 到 $+10$ 度之间。

[0102] 对从燃料喷射器 96 进入到跨接通道 78 和 79 的燃料喷射进行定时,以便完全在压缩活塞 72 的压缩冲程期间并且在 SOI 和 EOI 的优选范围内发生燃料喷射,这使得来自 Xovr 通道 78、79 的喷射燃料几乎完全输送到膨胀气缸 68 内。要注意的是在压缩冲程开始之前对 SOI 进行定时可能产生过早的爆震。还要注意的是在压缩冲程结束之后对 EOI 进行定时可能使大量燃料截留在跨接通道 78 和 79 内而没有输送到膨胀气缸 68 内。

[0103] 燃料喷射压力必须比 Xovr 通道 78 和 79 的压力高,且根据发动机转速和载荷操作点,使用不同的喷射压力以获得优化的喷射持续时间和不同的喷射系统性能。

[0104] 图 5 示出了从以 4000RPM、100% (全) 发动机载荷下的自然吸气原始分开循环发动机 50 循环模拟预测的相对于曲柄角的 Xovr 通道 78 和 79、压缩气缸 66 压力和膨胀气缸 68 压力。对于 XovrC 阀 86、XovrE 阀 88、压缩气缸 66、膨胀气缸 68、火花塞 98 点火、用于喷射器 96 的 SOI 的范围、用于喷射器 96 的 EOI 范围和压缩冲程的结束示出了定时。线 124 表示压缩气缸 66 压力。线 126 表示 XovrC 阀 86 出口压力,即,在被定位成恰好靠近 XovrC 阀 86 提升头的跨接通道 78、79 内的点处所取的压力。线 128 表示 XovrE 阀 88 入口压力,即,在被定位成恰好靠近 XovrE 阀提升头的跨接通道 78、79 内所取的点处的压力。最后,线 130 表示膨胀气缸 68 压力。

[0105] 对于图 5 的这种模拟,SOI 定时被模拟为 20 度 BTDC,且 EOI 定时在 1 度 ATDC 处。此 EOI 在火花点燃之前仅仅为大约 16 度。要注意的是在此范围内,Xovr 通道压力(线 126 和 128)在大约 25-65 巴的范围内,并因此燃料喷射压力必须远远超过这些压力。还要注意的是当 XovrE 阀 88 打开时,XovrE 阀入口压力(40 巴)明显比膨胀气缸 68 压力(5 巴)高,且 XovrE 阀 88 两端足够高的压力比使燃料空气混合物的声速流通过 XovrE 阀打开区域,这可增加湍流和燃料空气混合。

[0106] 图 6 和图 7 显示了当原始发动机 50 在全(100%)发动机载荷下运行时,分别以 4000rpm(图 6 的线 132)和 1400rpm(图 7 的线 134)从跨接通道 78 和 79 通过 XovrE 阀 88 进入到膨胀气缸 68 内的近似流动的 Mach 数。当 XovrE 阀 88 首先打开时,流动在两个速度下对于大约 3-4 度来说都是声速(Mach = 10),然后在 4000rpm 下下降到大约 0.35 Mach,而在 1400rpm 下降到 0.15 Mach,这仍然被认为是高速湍流。因为湍流提供快速空气燃料混合,因此,高速湍流通过减少将燃料/空气装料暴露给压缩高温的时间长短而有助于对发动机的爆震抵抗。

[0107] 通过比较图 5、图 6 和图 7,可以看到发动机 50 的优选 SOI 范围在 TDC 之后在 -25 到 0 度 CA 之间,而初始声速流在 TDC 之后发生在大约 -5 到 -2 度之间。这表示在空气流已经下降到声速以下之后可以使整个燃料喷射事件发生。然而,优选的是在压缩气体的初始声速流期间使喷射燃料的至少一部分通过跨接膨胀阀 88,以将燃料和空气更加充分地混合在一起。

[0108] 重新参照图 5,要注意的是在 XovrE 阀在 25 度 ATDC 处闭合之后,Xovr 通道 78、79 内的平均压力(线 126 和线 128)大约为 47 巴。然而,Xovr 通道 78、79 的截留容积内的平均压力(线 126 和线 128)在 XovrC 阀在 15 度 BTDC 处打开时减小到大约 39 巴。这种能量损失是由于从截留空气到 Xovr 通道壁的热传递,并且表示被消耗以压缩空气的大约 13%

的能量损失。因为这种能量损失是对图 4 中所预测的低爆震数的重要贡献,因此理想的是构造气体通道 78 和 79,使得在气体通道 78 和 79 内截留的大量空气中至少 13%的能量在闭合 XovrE 阀 88 与随后打开 XovrC 阀 86 之间被除去。

[0109] 参照图 8,为了确定热损失的影响,在高度隔热气体通道 78 和 79 壁、陶瓷内层和绕通道的空气间隙的情况下运行模拟。图 8 中模拟的原始发动机 50 与图 5 中模拟的发动机相同,但是具有陶瓷隔热通道壁。线 136 表示压缩气缸 66 压力。线 138 表示 XovrC 阀 86 出口压力,即,在被定位成恰好靠近 XovrC 阀 86 提升头的跨接通道 78、79 内的点处所取的的压力。线 140 表示 XovrE 阀 88 入口压力,即,在被定位成恰好靠近 XovrE 阀提升头的跨接通道 78、79 内所取的点处的压力。最后,线 142 表示膨胀气缸 68 压力。

[0110] 图 8 示出了在从当 XovrE 阀 88 在 25 度 ATDC 处闭合时与当 XovrC 阀 86 随后在 15 度 BTDC 处打开时之间几乎没有损失的情况下、相对于曲柄角的预测的 Xovr 通道压力(线 138 和线 140)。要注意的是在图 8 中所模拟的具有陶瓷隔热气体通道 78 和 79 的原始发动机 50 的两个气缸 66 和 68 以及跨接通道 78 和 79 内的所有压力(因此所有温度)相对于图 5 中所模拟的具有不隔热跨接通道 78 和 79 的原始发动机 50 更高。

[0111] 参照图 9,在增加跨接通道压力和温度的情况下,对更高压缩/膨胀气缸排放比的计算机研究模拟预测达到 1.0(因此发生爆震)的不能被接受的爆震分数。因此,在空气燃料比从 13.05/1(90%的化学计量比)改变到较高的 10.4/1(70%的化学计量比)的情况下,必需重新运行模拟,以促进蒸发冷却并将预测的爆震分数保持在 1.0 以下。图 9 示出了在 1000N 燃料的情况下所发生的爆震分数,其中线 144 表示具有 87mm 压缩冲程的原始发动机 50,而线 146 表示分开循环发动机,所述分开循环发动机与原始发动机 50 的不同仅仅在于所述分开循环发动机具有 120mm 的细长压缩冲程并且具有相称的较大排量。

[0112] 要注意的是更高的爆震分数在 0.9 以上(线 146),由于对于操作条件和周围温度和压力的变化不足的爆震边缘余量(margin),因此这将在生产中是不可行的。然而,即使在高压缩/膨胀气缸排量比下,具有完全不隔热通道的爆震分数留下许多爆震余量(见图 4)。因此,例如对于通道截面在不锈钢套管和周围空气间隙的情况下,适中量的隔热可以使效率增加,同时仍然基本上将爆震分数保持在 1.0 以下。

[0113] 图 10 类似于图 5 和图 8,但是在通道的中心截面内气体通道 78 和 79 壁被改变成不锈钢套管,且在套管与原始发动机 50 的铸铁气缸盖 70 之间具有 5mm 空气间隙。包括弯曲以容纳 XovrC 阀 86 和 XovrE88 阀气体通道 78 和 79 的端部被保持为不隔热铸铁。线 148 表示压缩气缸 66 压力。线 150 表示 XovrC 阀 86 出口压力,即,在被定位成恰好靠近 XovrC 阀 86 提升头的跨接通道 78、79 内的点处所取的的压力。线 152 表示 XovrE 阀 88 入口压力,即,在被定位成恰好靠近 XovrE 阀提升头的跨接通道 78、79 内所取的点处的压力。最后,线 154 表示膨胀气缸 68 压力。

[0114] 图 10 显示了在从 XovrE 阀 88 闭合到 XovrC 阀 86 打开的、但是没有在图 5 的不隔热(铸铁)壁的情况下多的一些损失的情况下相对于曲柄角的预测的 Xovr 通道 78 和 79、压缩气缸 66 压力和膨胀气缸 68 压力。平均通道压力从 XovrE 阀 88 闭合时的大约 47.5 巴下降到 XovrC 阀 86 打开时的 45 巴,与对于不隔热通道 13%的能量损失相比,这表示被消耗以压缩空气的大约 5.3%的能量损失。

[0115] 图 11 显示了对于两个分开循环发动机预测的爆震分数,其中跨接通道 78 和 79 与

不锈钢套筒和空气间隙隔热。线 156 表示具有 87mm 压缩冲程的原始发动机 50，而线 158 表示分开循环发动机，所述分开循环发动机与原始发动机 50 的不同仅仅在于所述分开循环发动机具有 120mm 的细长压缩冲程。在此模拟中的两个发动机都在 1000N 燃料上运行。对于图 4 的不隔热通道来说，爆震分数要高得多，但是与图 9 的陶瓷壁通道相比，具有在 1.0 以下的明显的余量。

[0116] 参照图 12，以上结果表明分开循环发动机 50 的预测爆震分数对 Xovr 通道 78 和 79 内的能量损失程度十分敏感。这可提高通过一些“有源”形式的冷却系统以动力学的方式控制这种热损失的可能性，从而影响在不同操作条件下的发动机的爆震趋势。图 12 示意性地示出了用于分开循环发动机 50 的示例性冷却系统，其中显示了用于发动机 50 的包括 Xovr 通道 78 和 79 的不同部分的分离冷却回路。

[0117] 虽然已经参照具体实施例说明了本本发明，但是应该理解的是在所述的本发明构思的精神和保护范围内可以进行多种改变。因此，目的是本本发明不限于所述的实施例，而是本发明具有由以下权利要求的语言限定的全部保护范围。

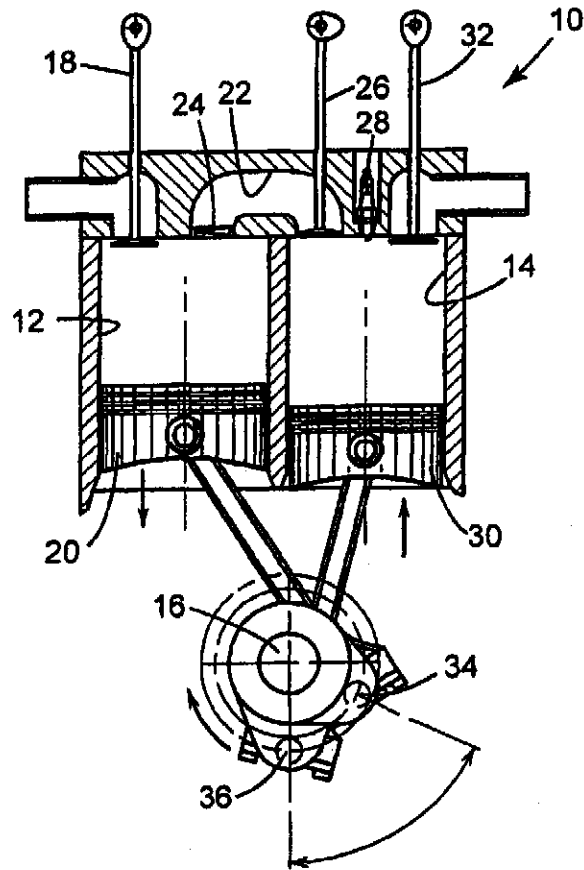


图1 (现有技术)

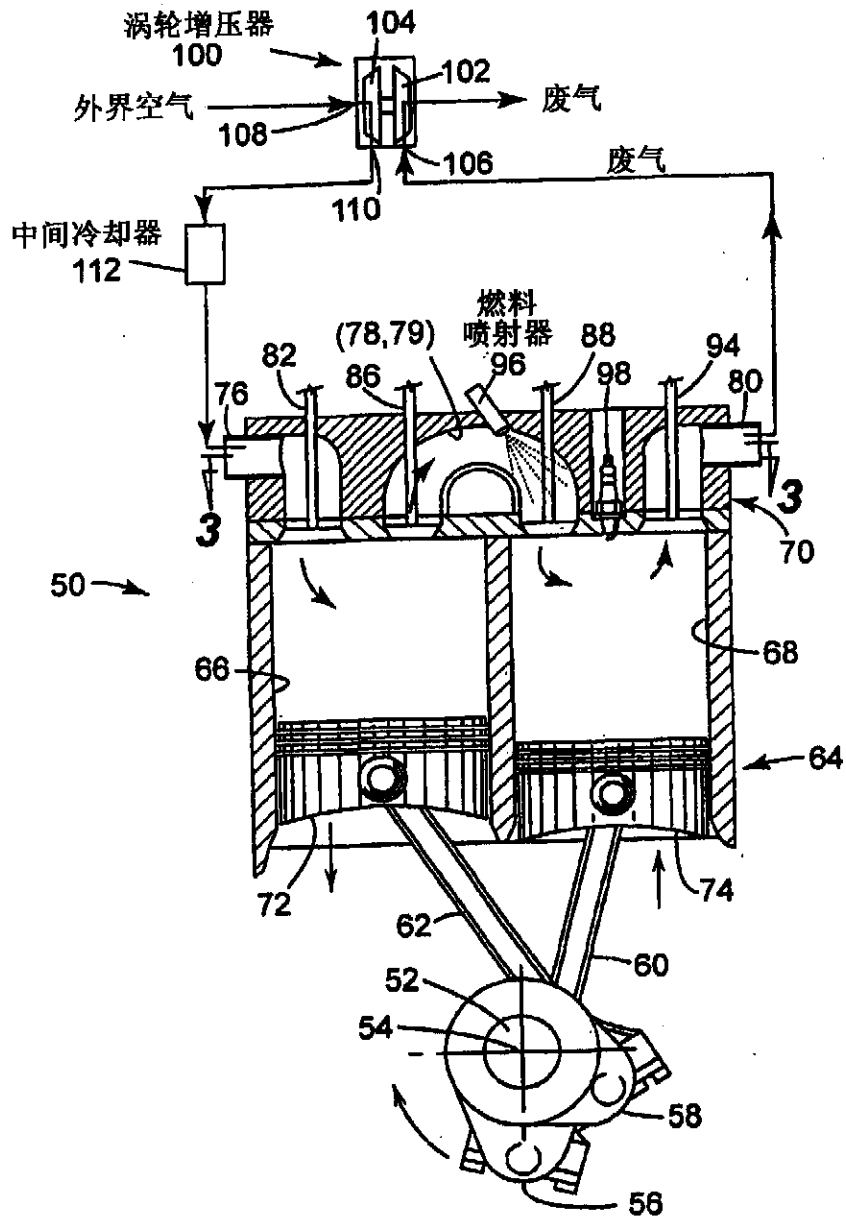


图 2

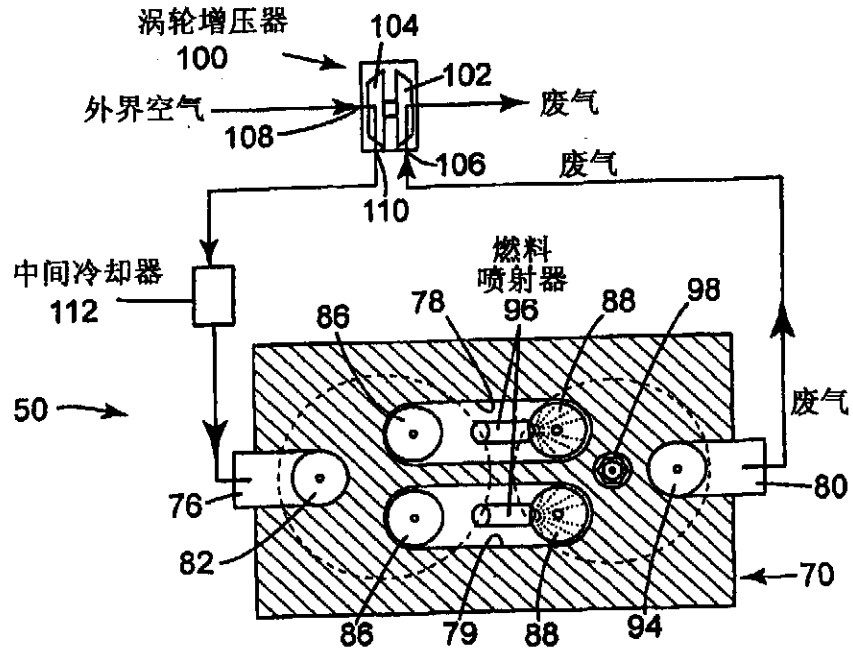


图 3

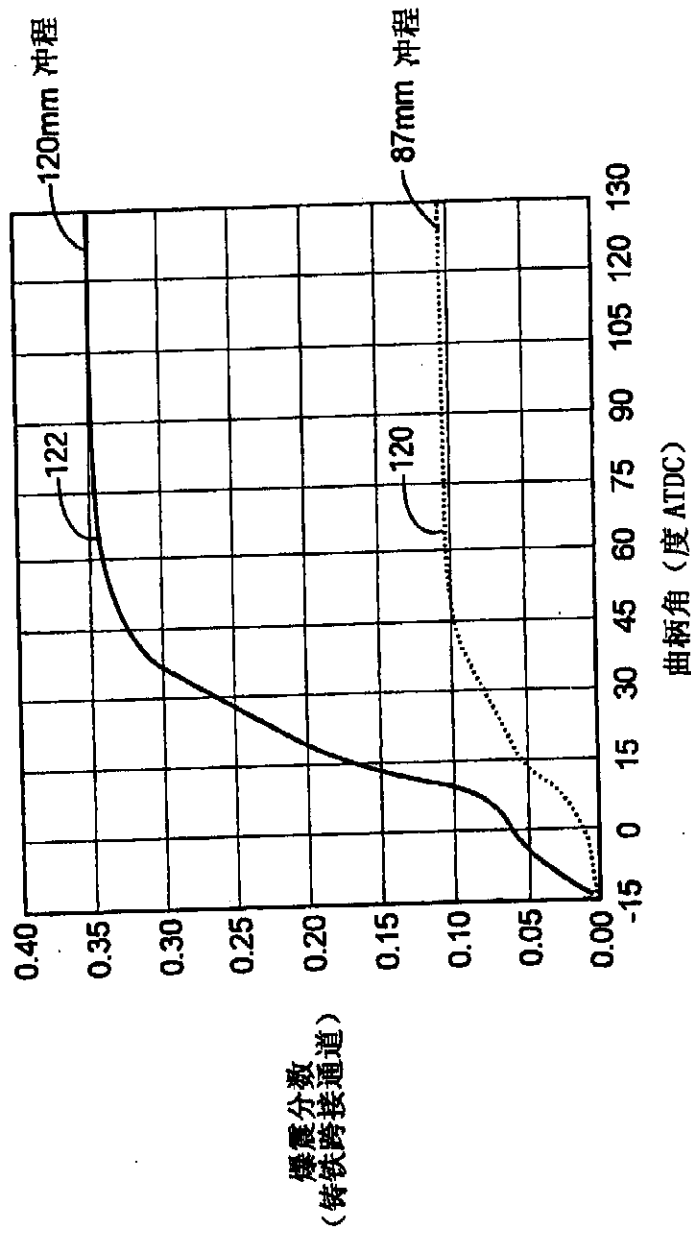


图 4

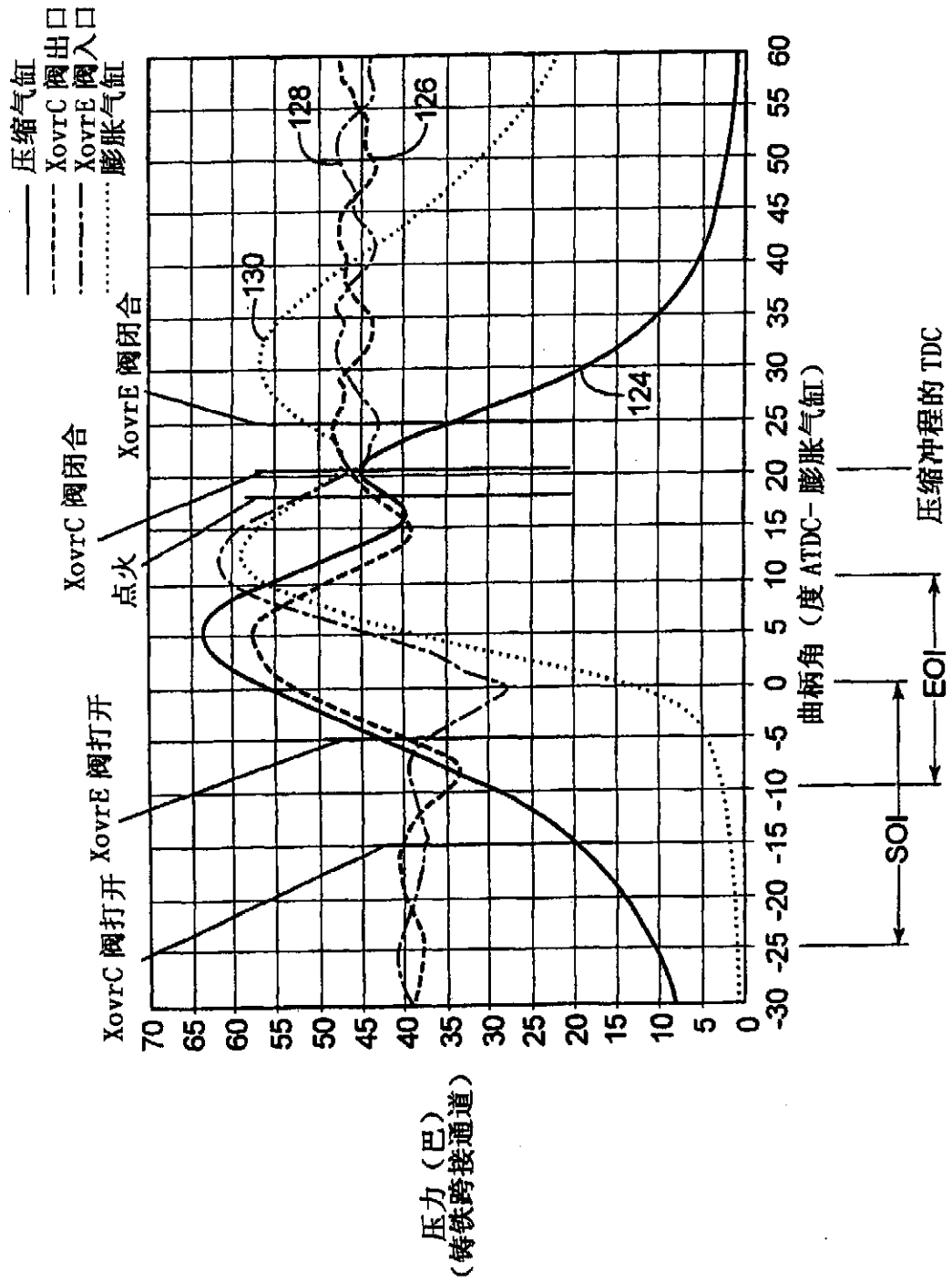
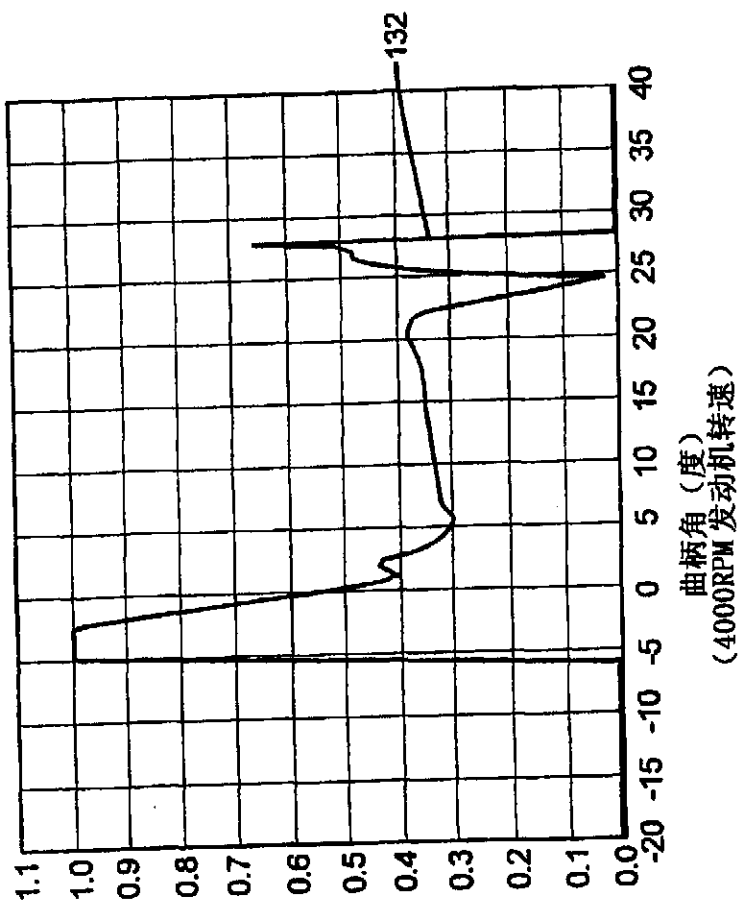


图 5



马赫数
(铸铁跨接通道)

图 6

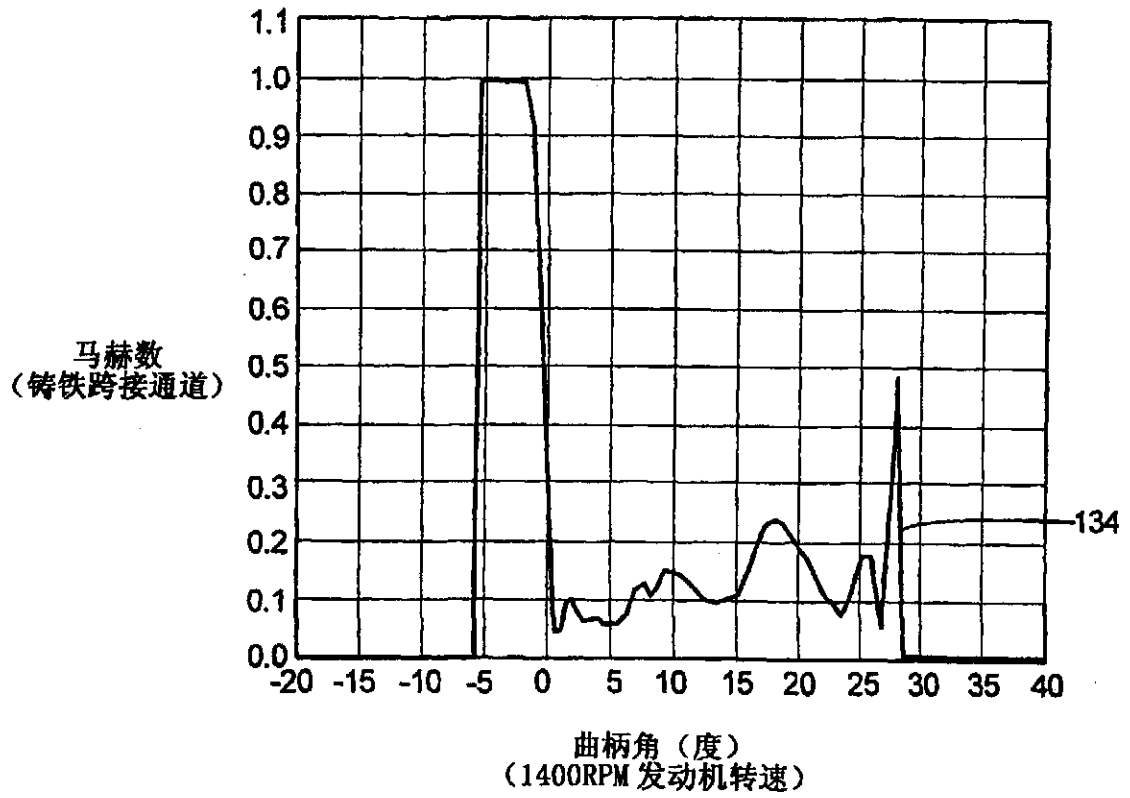
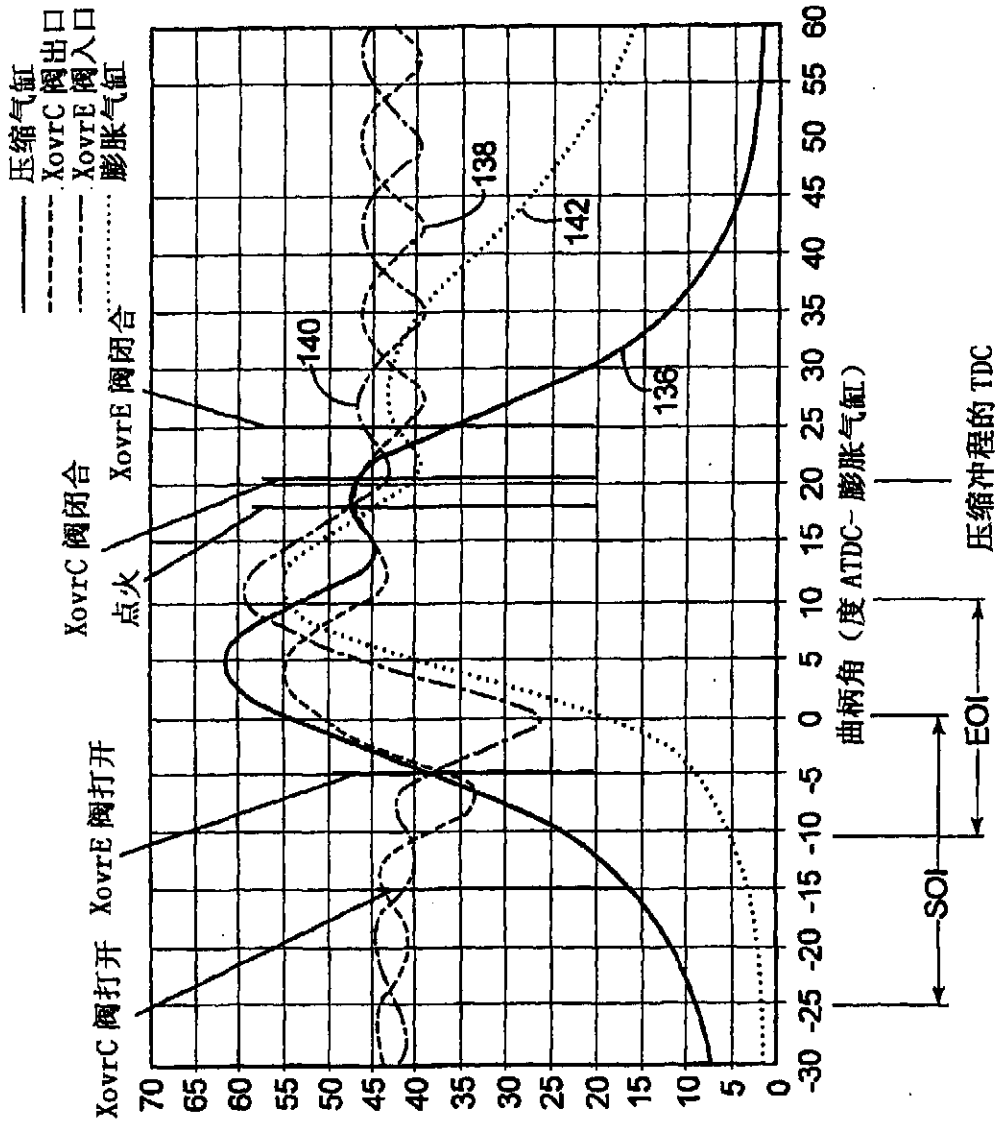
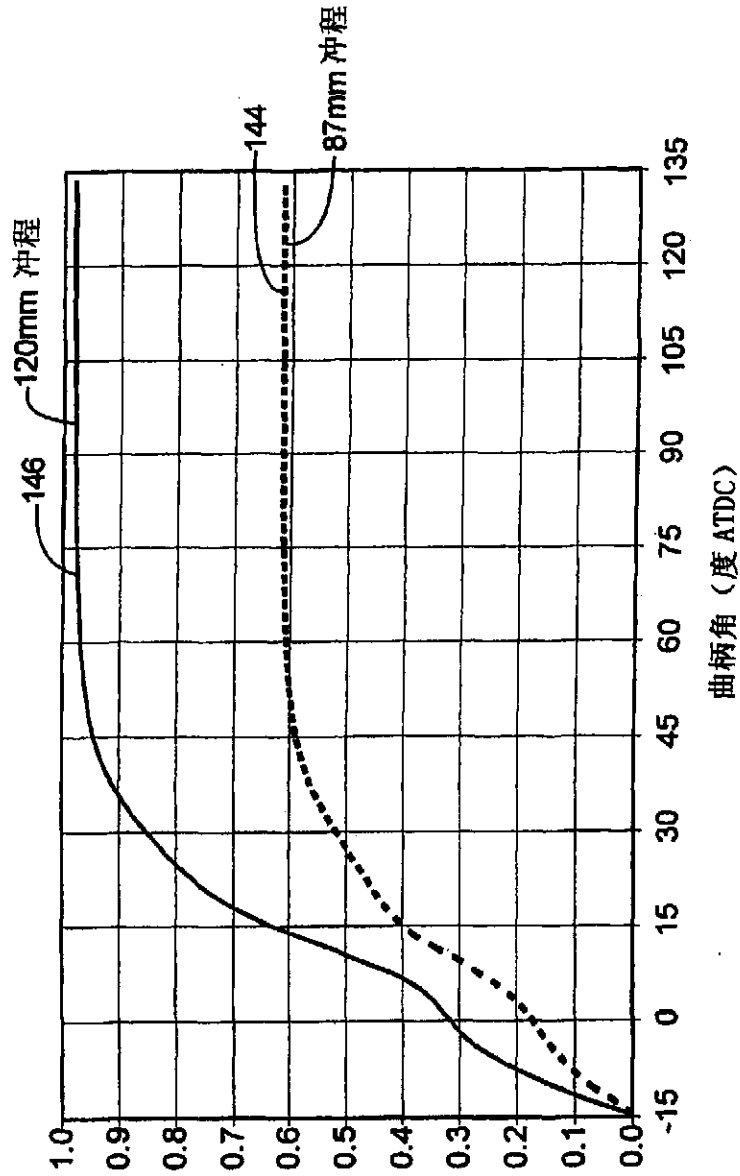


图 7



压力 (巴)
(陶瓷跨接通道)

图 8



爆震分数
(陶瓷跨接通道)

图 9

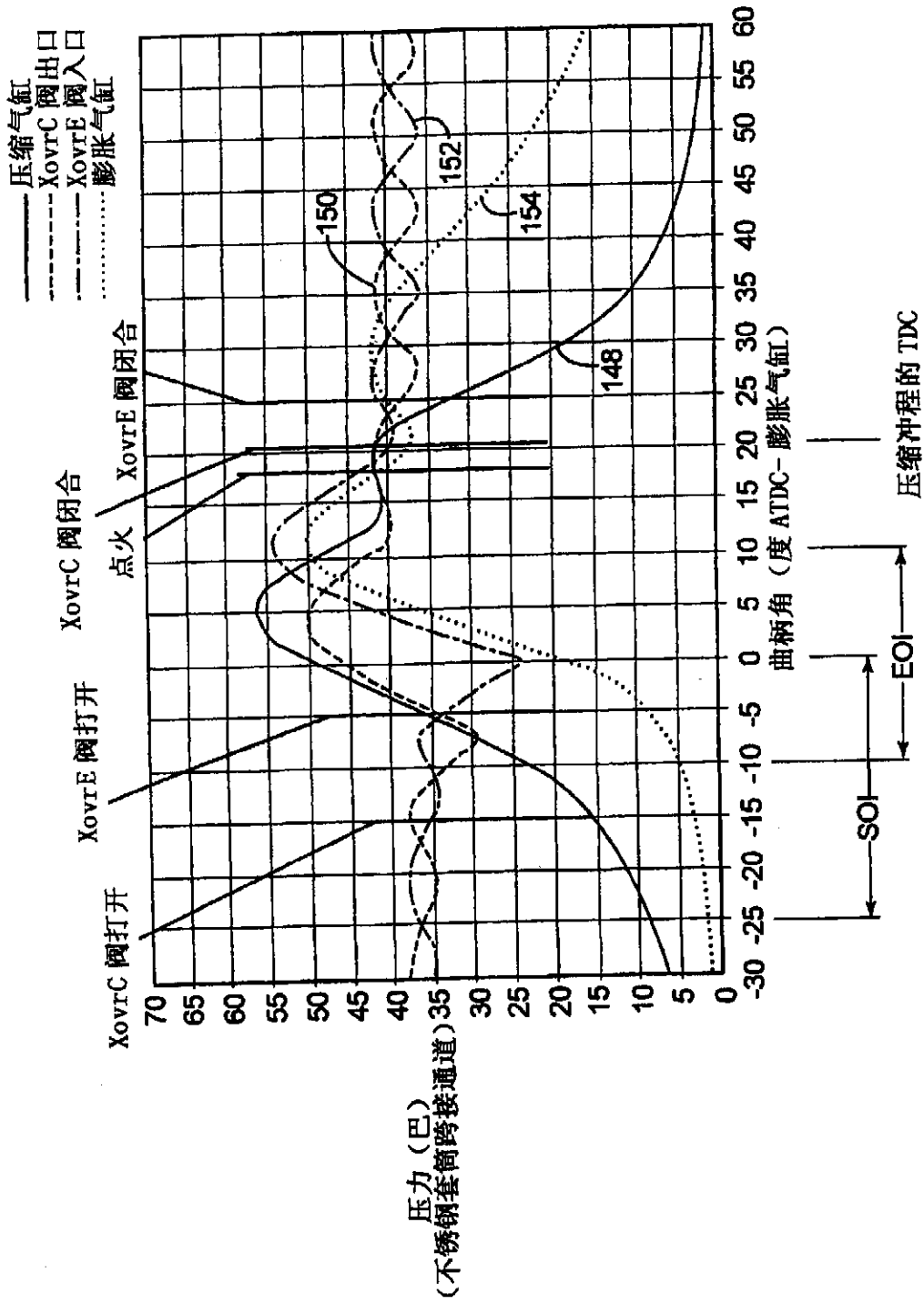
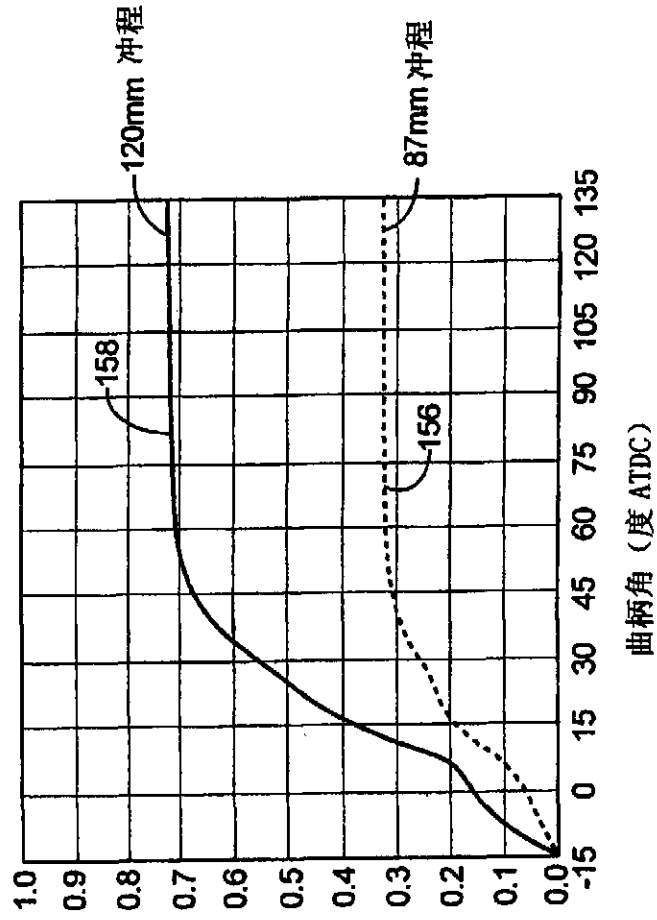


图 10



爆震分数
(不锈钢套筒跨接通道)

图 11

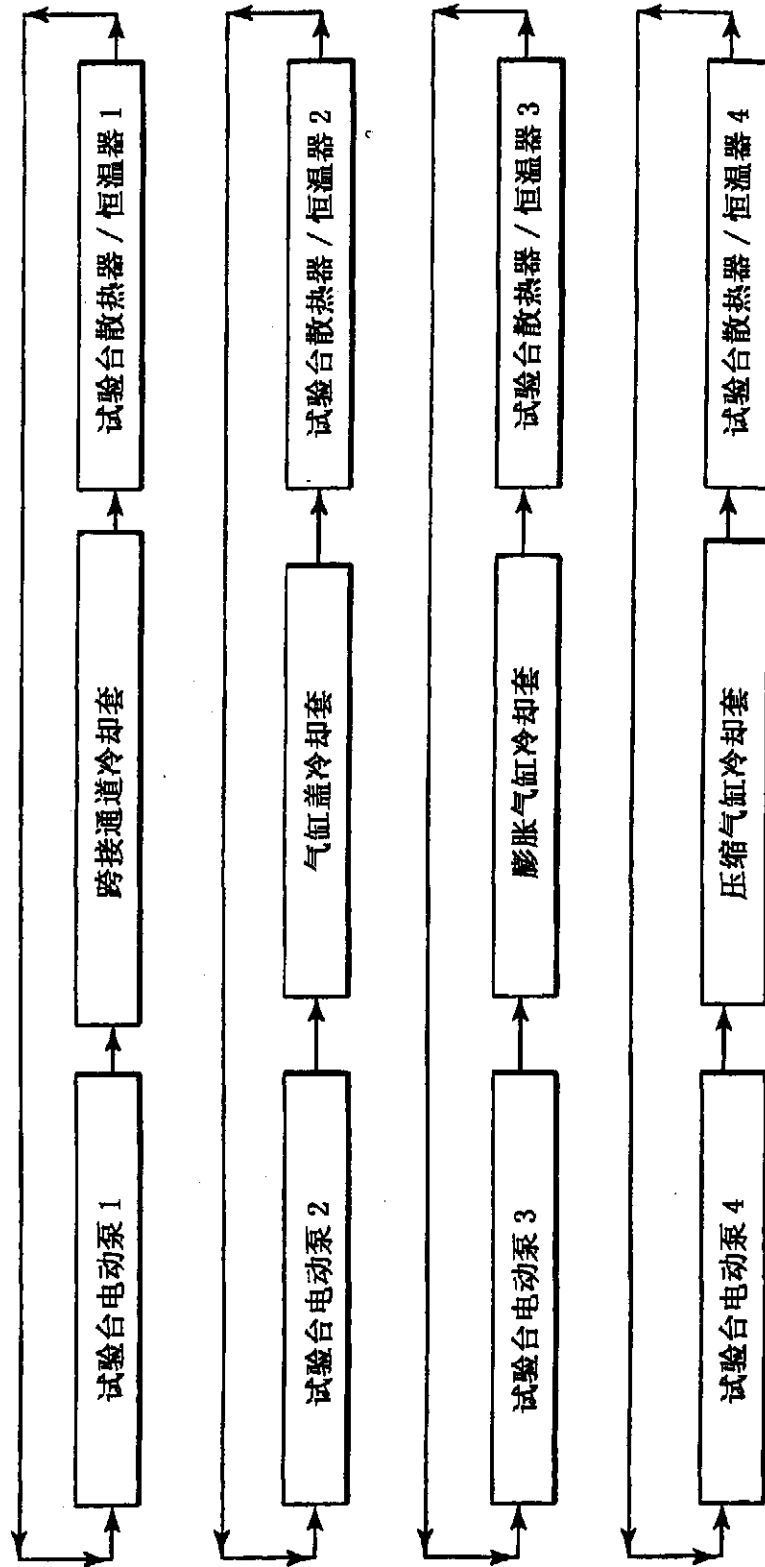


图 12